

• 标准规范交流园地 •

屋面雨水排水系统五十年回顾

吴焕吉¹ 王竹² 吕晖³ 姜文源³ 刘彦菁³

(1 潍坊市建设工程施工图审查中心, 潍坊 261031; 2 青岛理工大学建筑设计研究院, 青岛 266033;

3 悉地国际设计顾问(深圳)有限公司, 上海 200235)

摘要 屋面雨水排水系统自 20 世纪 50 年代至现在, 是一个问题频发、争论不断的热点问题。截至目前, 不同的规范关于屋面雨水排水系统的雨水管系的水流流态、雨水排水系统的类别仍有较大分歧。从建国初开始, 回顾不同阶段关于屋面雨水排水系统的概况, 同时就其现状提出看法。

关键词 屋面雨水排水系统 外排水系统 内排水系统 雨水立管流态

1 “64 版规范”前

我国建筑给水排水专业第一本设计规范是《室内给水排水和热水供应设计规范》(BJG 15—64), 以下简称“64 版规范”。在此之前, 建国以后, 屋面雨水排水系按外排水系统设计, 雨水管沿外墙敷设, 雨水管道称为雨落水管, 由建筑专业设计。

我国东北地区先期进行基本建设, 工程建设以工业建筑为主, 当时我国还没有相应的设计规范可用于指导设计, 因此采用的是前苏联规范。前苏联规范中屋面雨水排水系统采用的是重力流方式, 计算公式为重力流计算公式。重力流方式的要点为: ①雨水在重力作用下排放; ②屋面雨水在雨水立管内为非满流状态; ③重力流计算公式: $d = (Fh/438)^{1/2}$, 该公式俗称“438 公式”, 公式中 438 是个系数, 数值随三通的形式不同而定, F 为雨水立管汇水面积(m^2), h 为小时计算降雨厚度(mm/h), d 为雨水立管管径(mm)。这就意味着重力流系统, 雨水立管的排水能力取决于雨水立管管径和三通的类型。

当时还有一个问题是小时计算降雨厚度 h 的选用。由于当时我国自行统计计算的小时计算降雨厚度值尚未确定, 工程设计采用的小时计算降雨厚度系按前苏联规范的三条雨量曲线, 分别为 50 mm、65 mm 和 75 mm。该数值用于我国明显偏小, 小于我国各地的实际小时降雨量。

20 世纪 50 年代初为适应大规模工业建设的需要, 我国开始筹建各类工程院所, 包括工业建筑设计院、给水排水设计院等。设计院参照前苏联模式筹建, 筹建组成的工业建筑设计院以三大院为代表:

建筑工程部北京工业建筑设计院、机械工业部第一设计院、冶金工业部有色冶金设计院。学术组织、科研活动、基础建设等都以这三大设计院为主而开展。

设计院成立以后, 第一批工程建设项目是第一个五年计划, 由原苏联援建的一百多项项目, 如: 洛阳拖拉机厂、洛阳轴承厂、哈尔滨亚麻厂等。

当年在设计院派驻有前苏联专家, 前苏联专家按各有关专业配置, 包括给水排水专业。第一批设计的工程建设项目在 50 年代后期建成, 使用后发现问题并引起反思, 其中包括屋面雨水排水系统。

屋面雨水排水系统的主要问题是屋面雨水内排水系统, 厂房内的雨水检查井冒水。现象是: 雨水检查井井盖被雨水顶开, 雨水冒出检查井, 厂房地面雨水漫溢, 影响车间正常生产。厂方用铸锭压在井盖上, 但未能有效控制检查井冒水, 情况反映至设计院, 引起院方重视。当时设计院所采取的相应对策是: ①派出人员, 赶临现场, 了解情况, 写出调查报告; ②不再采用前苏联的小时降雨量数据; ③建工部北京工业建筑设计院、清华大学、机械工业部第一设计院联合进行屋面雨水试验, 地点定在清华大学实验室。试验工作以京津地区室内给排水学组为主, 该学组当时挂靠北京工业建筑设计院, 北京工业建筑设计院给水排水专业主任工程师孙培为学组组长, 清华大学王继明、机械工业部第一设计院方为栋、市政工程研究所室内给水排水研究组许维均等为学组副组长。

雨水试验由王继明教授具体负责, 具体参加试验工作的人员有: 北京工业建筑设计院文川(后调标准院)、机械工业部第一设计院李一平(后调上海市

政院)等。雨水试验历时 3 年,具体成果为:

(1) 屋面雨水排水系统雨水在管系内的流态不是重力流,而是压力流;即使工程按重力流设计,由于存在超重现期降雨量,系统仍会出现压力流现象。

(2) 通过试验总结出压力流计算公式,该计算结果比按重力流计算公式计算的结果,雨水立管管径至少小 1 级。

(3) 雨水立管下端弯头处,在改变雨水水流流向后,上游管段的管中心要对准下游管段的管中心。

(4) 第一个雨水检查井应有消能装置。

(5) 厂房内不得设置雨水检查井。

(6) 雨水应为封闭系统。

(7) 尽量将屋面雨水排水系统设计成外排水系统。

(8) 试验还发现:雨水立管水流不是液态单相流,而是气、水双相流。双相流中空气占有部分体积,而且管系内空气时而被压缩,时而扩张,使双相流流态复杂化。

(9) 空气是从雨水斗进入雨水排水系统的,要优化雨水水流流态,必须研发不掺气的雨水斗。

与此同时,前苏联也在关注屋面雨水排水系统,在前苏联屋面雨水排放时也出现一系列问题,他们也进行了一系列的试验,如:

(1) 新型雨水斗的研发,使雨水斗尽量不进气。

(2) 探索高低跨雨水斗设置的可能性。通过试验证明高层建筑主楼与裙房的雨水斗共用系统时,由于气流自下而上流动,裙房雨水斗会被冰冻,而主楼雨水斗由于热空气上升仍能正常排水。

(3) 超重现期雨量要靠溢流系统解决等。前苏联经改进后的新型雨水斗刊登在前苏联给水排水杂志上,被我国专业人员所认可。该雨水斗平面为圆形,周边 360°进水;顶盖封闭呈漏斗状,从外侧向中心逐渐加厚,下缘呈弧形断面,目的用以减少掺气量。该雨水斗经仿造后,即为 65 型雨水斗。

经过雨水试验,业内人士思想基本达到统一。自此以后,各设计院统一按压力流设计屋面雨水排水系统。

压力流计算方法比重力流计算方法雨水立管管径小 1 级及以上,形成缩径现象,导致天沟水位明显上升,严重时水位溢出天沟,从天窗漫溢至车间。给

人的印象是压力流也会出现问题(其实一个重要原因是当时的压力流未设溢流系统)。

附带说明一下,前苏联在推行屋面雨水排水压力流系统的同时,在室外也推行室外埋地雨水排水系统的压力流系统。室外埋地重力流系统,横管排水能力按管道敷设坡度等因素确定;室外埋地压力流系统,横管排水能力按水力坡度等因素确定;水力坡度始端为第一个室外雨水检查井井盖标高,终端为雨水出口标高。这个观点和做法当时也被我国专业人员所接受。无论是室内的压力流系统还是室外压力流系统都不涉及负压。

2 “64 版规范”

1962 年“64 版规范”开始制订。建工部北京工业设计院为主编单位,孙培任组长,姜文源任秘书。规范组共有 13 名成员,分给水组、排水组、热水组 3 个组,每组 4 人。其中排水组人员组成为:北京工业设计院张国柱(组长)、轻工部北京设计院周裕纲、上海医工设计院董阳竞、武汉钢铁设计院胡工。

“64 版规范”以前苏联规范为蓝本,即以前苏联下列规范为蓝本:《工业企业生产厂房和辅助厂房室内上水道设计标准及技术规范》(НИТУ 124 - 55)、《民用建筑室内上水道设计标准》(СНП II - Г 1 - 62)、《工业建筑物内部下水道设计标准及技术规范》(ГОСТ 1325 - 41)、《民用建筑室内下水道设计标准》(СНП II - Г 5 - 62)、《居住房屋、公共房屋和工业企业日常生活所需热水供应的设计标准和技术规范》(НИТУ 139-56)、《自然条件下少量生活粪便污水生物净化构筑物设计标准及技术规范》(Н. 15 - 54)、《工业与民用房屋内部排水设计规程》(Н - 19 - 41)等。

“64 版规范”分给水、排水、热水供应 3 章。在“排水”章内单列“雨水”一节。“64 版规范”在制订时,排水组内形成重力流与压力流的激烈争论。重力流以张国柱为代表,压力流以周裕纲为代表,最后规范仍按重力流定稿。否定重力流的主要理由是雨水试验证明雨水流态是压力流;否定压力流的主要理由是压力流系统也出问题,还不能下结论是替代重力流的屋面雨水排水系统。

“64 版规范”于 1964 年试行,随后不久,我国开始了史无前例的运动,相关技术工作陷于全面停滞。

3 “74 版规范”

1969 年建工部所辖设计科研单位,如北京工业建筑设计院、给水排水设计总院、标准设计研究所、专业设计所等科研设计单位撤销,人员成建制下放至山西省、河南省、湖北省、湖南省等地,《室内给水排水和热水供应设计规范》等档案被送至北京燕京造纸厂作纸浆原料。

1972 年重新考虑基本建设问题,给水排水专业 3 本国家规范面临修订,建工部所属设计院已经不复存在,而规范修订工作仍需进行,于是有关主管部门找到上海,室内、室外 3 本给水排水设计规范修订工作改由上海承担。这就是“74 版规范”。

“74 版规范”概况:主编单位:上海市城市建设局革命委员会;主编部门:上海市规划建筑设计院;参编单位:有关设计、科研、施工等共 18 个单位;主要起草人有:何因、应爱珍、张森、杨世兴、潘振钦、王庆选等。

从 1964~1974 年,这十年来建筑给水排水领域技术上基本上是一片空白。“74 版规范”与“64 版规范”相比,在“雨水”章节内容没有太大的区别,唯一的区别是雨水计算公式的条文“74 版规范”作了空缺处理。条文空缺肯定会影响工程设计,给设计带来不便,但在当时这又纯属无奈之举。

“74 版规范”之后,建工部标准定额司实施一项新的举措,即针对规范存在的问题,开展规范科研项目,规范科研项目所需科研费用由标准定额司专款解决。国家标准《室内给水排水和热水供应设计规范》规范管理组当时共上报了 4 项规范科研项目,其中最主要的为“屋面雨水排水”。

“屋面雨水排水”规范科研项目由清华大学、机械工业部总院和机械工业部第八设计院共同进行,由清华大学王继明、机械工业部总院赵雨舟负责,共进行了 8 年,试验数据的重现性好。

试验完成后,由规范管理组组织鉴定。鉴定先后组织了 2 次,第二次得以顺利通过。鉴定通过后,试验成果列入规范条文。这本规范在修订上报时改名为《建筑给水排水设计规范》,(GBJ 15—88,以下简称“88 版规范”)。

“屋面雨水排水”试验在进行过程中,曾就气、水双相流问题就教于清华大学水利系教授,水利系专家表示:屋面雨水排水系统的气、水双相流不同于水利

工程水坝的气、水双相流,要比水利系统复杂得多。

当年“屋面雨水排水”试验组曾总结出雨水计算公式,但公式参数偏多,不敷实用,没有纳入规范条文,但试验组专家们也付出了努力。

4 “88 版规范”

“88 版规范”编制组根据“屋面雨水排水”试验的成果写成条文,条文具具体撰写工作由姜文源完成。当时的主要设计理念是:

(1) 降雨量不可控。

(2) 重现期由设计确定,重现期标准在设计规范中应逐步提高,但不管提得多高,总会有超重现期的雨量出现,对此应采取相应措施。

(3) 屋面雨水排水系统由于雨量是变化的,因此流态也会因此而变化,重力流会转化为压力流。

(4) 超重现期雨量需由溢流系统排放。

(5) 溢流系统包括溢流口、溢流槽、溢流管等多种溢流方式。

(6) 有条件时,屋面雨水排水系统以外排水为好。

(7) 内排水时,以密闭系统为好。

(8) 非密闭系统时,以单斗系统为好。

(9) 多斗系统时,以雨水斗对称布置为好。

(10) 雨水斗尽量少进气(雨水斗顶部应有防进气的顶盖,雨水斗不应设在雨水立管顶端等)。

(11) 雨水立管底部弯头应对准排水横干管中心。

(12) 雨水立管底部应有消能装置等。

根据这些理念,“88 版规范”雨水章节有以下主要条文以体现实施这些理念,示例如下:

第 3.10.1 条 屋面雨水的排水系统,应根据建筑结构形式、气候条件及生产使用要求等因素确定。当经技术经济比较合理时,屋面雨水宜采用外排水系统。(本条强调外排水系统)

第 3.10.3 条 天沟的排水,应在女儿墙、山墙上或天沟末端设置溢流口。(本条强调溢流口)

第 3.10.4 条 屋面雨水设计当为内排水系统时,宜采取密闭系统。(本条强调密闭系统)

第 3.10.8 条 雨水的排水系统,宜采用单斗排水。当采用多斗排水时,悬吊管上设置的雨水斗不得多于 4 个。悬吊管管径不得大于 300 mm。(本条强调单斗和少斗)

第 3.10.11 条 多斗雨水排水的雨水斗,宜对

立管作对称布置。(本条强调斗的对称布置)

第 3.10.12 条 多斗雨水排水的雨水斗,其排水连接管应接至悬吊管上,不得在立管顶上设置雨水斗。(本条强调立管顶上不设斗)

第 3.10.13 条 接入同一立管的雨水斗,其安装高度宜在同一标高层。……(本条强调斗为同一标高层)

第 3.10.16 条 与雨水立管连接的悬吊管,不宜多于两根。(本条强调悬吊管数量)

第 3.10.21 条 屋面的汇水面积,应按屋面的水平投影面积计算。窗井、高层建筑裙房应附加高层侧墙面积的 1/2 折算为屋面的汇水面积。(本条强调汇水面积)

第 3.10.22 条 屋面雨水斗的设计泄流量,不得大于表 3.10.22 中规定的雨水斗最大泄流量(见本文表 1)。

表 1 屋面雨水斗最大泄流量

雨水斗规格/mm	100	150
一个雨水斗泄流量/L/s	12	26

第 3.10.24 条 雨水立管的设计泄流量,不得大于表 3.10.24 中规定的雨水立管最大设计泄流量(见本文表 2)。

表 2 雨水立管最大设计泄流量

管径/mm	最大设计泄流量/L/s
100	19
150	42
200	75

第 3.10.25 条 单斗和对立管对称布置的双斗系统,立管的管径应与雨水斗规格一致。

5 改革开放带来的新风

改革开放以后,引进了国外新技术。对于屋面雨水排水系统则是指欧洲虹吸式屋面雨水排水系统的引入。

虹吸流的概念是:雨水从雨水悬吊管进入雨水立管后,水流方向突然改变,水流速度突然加快,在悬吊管末端会出现负压,雨水斗处的斗前水深与悬吊管末端的负压形成高压差,在高压差的作用下,水流速度加快,排水流量明显增大。在负压作用下的雨水水流酷似虹吸管段的负压流,因此命名为虹吸式屋面雨水系统。虹吸流也是压力流,但强调的是负压,而不是正压,这是区别于压力流的主要原因。

强调正压的压力流与强调负压的虹吸流有以下主要区别,见表 3。

表 3 强调正压的压力流与强调负压的虹吸流区别

强调正压的压力流	强调负压的虹吸流
正压力为主动动力	负压抽吸为主动动力
压力式雨水斗	虹吸式雨水斗
悬吊管为正坡	悬吊管可平坡敷设
管系无负压段	悬吊管末端和立管上端为负压段
立管末端不设过渡段	立管末端设过渡段

虹吸式屋面雨水排水系统应采用虹吸式雨水斗。虹吸式雨水斗外有防叶罩拦截树叶、杂物;内有防涡流装置,能减少空气进入管系;在设计排水量下有最大斗前水深;下有尾管,可用以调节管系阻力;与屋面或天沟和管路有可靠连接,不渗不漏。

虹吸式屋面雨水排水系统除了强调虹吸式雨水斗等硬件外,更强调计算软件。计算软件的精度和深度有不同层次:计算沿程水头损失,也计算局部水头损失(基本要求,第三层次);计算管件水头损失,也计算雨水斗水头损失(要求提高,第二层次);计算雨水斗本体水头损失,也计算雨水斗连接管水头损失(要求更高,第一层次)。软件计算的更高层次为:计算雨水量,也计算掺气量;计算正压值,也计算负压值;计算雨水流量,也计算斗前水深;计算管道系统,也计算固定系统。

计算软件精度和深度不同,直接影响雨水排水系统正常运行,生产企业的技术差距往往就在软件。

自从出现了虹吸流的概念,压力流与虹吸流已经有过多次碰撞。一次是协会标准《虹吸式屋面雨水排水系统技术规程》在无锡召开送审稿审查会,会上,泰宁公司强调压力流,编制组强调虹吸流,两者相持不下,最后协会标准在专家审查组组长潘德琦和归口单位领导顾泰昌主持下,才得以顺利通过。会后,中国工程建设标准化协会和建筑与市政产品应用分会责成规程编制组写出专题报告。该项工作由姜文源负责完成,专题报告题目是《压力流与虹吸流的区别》。经上报后,规程始获批准。

《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)和 2009 年版只承认重力流和满管压力流,不承认虹吸流;《建筑与小区雨水利用工程技术规范》(GB 50400—2006)承认重力流、半有压流和虹吸流。两本国家标准,都涉及雨水系统,但表述的流态大相径庭,差异

明显,这是另一种形式的碰撞。

《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003, 2009 年版)编制组的宣贯材料就该规范不认可虹吸流的问题有过解释,理由是雨水悬吊管无虹吸管段。笔者并不认可这个观点,虹吸式屋面雨水排水系统之所以命名为虹吸式,是因为管系内有负压,类似于虹吸管段的水流流态,而未拘泥于是否有虹吸管段。如果硬要将雨水悬吊管设置成虹吸管段,那就会出现倒坡,导致降雨后期的雨水积聚在悬吊管段,而不能及时排除。现在虹吸流的雨水悬吊管既不是正坡,也不是倒坡,而是平坡,那就是既能造成虹吸现象,又不致于积水在管段中的一个最佳选择。不拘泥于形式,而是从本质上去确立其特征的做法,在生活中比比皆是。在生活中,将术语概念衍变、派生的情况是常见的,纠缠于没有虹吸管段从而否定虹吸流流态是不妥的。

现在的情况又有了变化,与屋面雨水排水系统有关的规范增加了 1 本,共 4 本,即:GB 50015《建筑给水排水设计规范》、GB 50400《建筑与小区雨水利用工程技术规范》、CECS 183:2005《虹吸式屋面雨水排水系统技术规程》、GB 50×××《建筑屋面雨水排水系统技术规程》。

《建筑给水排水设计规范》涉及到的雨水系统是:重力流屋面雨水排水系统和满管压力流屋面雨水排水系统。《建筑与小区雨水利用工程技术规范》和《建筑屋面雨水排水系统技术规程》涉及到的雨水系统是:重力流屋面雨水排水系统、半有压流屋面雨水排水系统和虹吸流屋面雨水排水系统。这就提出了两个问题:①流态是按两分法,还是按三分法合理?②半有压流屋面雨水排水系统这个叫法是否合理。

笔者认为两分法和三分法没有本质上的区别,基本上是两种流态:重力流和压力流。满管流则是介于重力流和压力流之间的一种过渡状态。重力流的极限是满流状态,但这种满流状态的重力流瞬间就转换为压力流。重力流流态的雨水系统应称为重力流屋面雨水排水系统,压力流流态的雨水系统应称为虹吸流屋面雨水排水系统,或虹吸式屋面雨水排水系统,因为负压抽吸是压力流的主要特征。

半有压流屋面雨水排水系统的半有压流概念来源于水力学。个人认为称谓半有压流的水力学是沟

渠水力学理论,与管道水力学有所区别。管道水力学流体周边是有限位功能的管壁所框住,是不能自由扩张的,这点和沟渠不完全相同。在管道内的水流当周边都有限制时,它的流态或为重力流(包括满流状态的重力流),或为压力流,不存在半有压流。

6 虹吸式雨水系统的新动向

屋面雨水排水系统经历了 50 年的风风雨雨,技术并未止步,虹吸式屋面雨水排水技术的探索也在继续。这里仅举两个例子:

(1) 过去认为斗前水深是一个定值,现在通过试验认识到斗前水深不是一个定值。

(2) 过去认为 PVC-U 管不能用于虹吸式雨水排水系统,现在认识到改性 PVC-U 管可以用于虹吸式雨水排水系统。

2012 年吉博力公司在上海进行过一项雨水测试项目:雨水立管管径与斗前水深及虹吸时间的关系,测试结果为:雨水立管管径缩小,虹吸时间提前,斗前水深加深;雨水立管管径加大,虹吸时间推迟,斗前水深降低。

而斗前水深直接与屋面构造、屋顶结构荷载值、溢流系统溢流水位标高有关。通过试验认识到斗前水深不是定值。虹吸式屋面雨水排水系统的主要管材为 HDPE 管和不锈钢管。PVC-U 管由于管材材质过脆,韧性不够而不被使用。而改性 PVC-U 管则可用于虹吸式雨水排水系统,这种系统已在欧洲使用,效果良好。这种系统雨水斗的排水管可采用软管连接,由于 PVC-U 管的线膨胀系数小于 HDPE 管,因此改性 PVC-U 管雨水系统的支架可以大大简化。

参考文献

- 1 BJJ 15—64 室内给水排水和热水供应设计规范
- 2 GB 50015 建筑给水排水设计规范
- 3 GB 50400 建筑与小区雨水利用工程技术规范
- 4 GB 50××× 建筑屋面雨水排水系统技术规程
- 5 CECS 183:2005 虹吸式屋面雨水排水系统技术规程

※ 通讯处:261031 山东省潍坊市奎文区文化路 465 号新都大厦七楼 潍坊市建设工程施工图审查中心
电话:15853637098
E-mail:whjgsls@sina.com
收稿日期:2013-03-20